

J. Tek. Ling.	Vol. 8	No. 3	Hal. 277-286	Jakarta, September 2007	ISSN 1441-318X
---------------	--------	-------	--------------	-------------------------	----------------

## APLIKASI SISTEM *FUEL CELL* SEBAGAI ENERGI RAMAH LINGKUNGAN DI SEKTOR TRANSPORTASI DAN PEMBANGKIT

**Achmad Hasan**

Peneliti di Pusat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

### ***Abstract***

*Fuel cell is a device which is purposed to convert chemical energy into electric energy and produce water as side result. Fuel cell technology doesn't produce emission and doesn't make noises and also as environmental friendly energy has a high efficiency until 45% in fuel conversion to electricity, and it can be higher until 60% – 80% if it is co-generation. A fuel processing system converts hydrocarbon or other organic fuels to hydrogen of composition and purity suitable for fuel cell operation. The fuels include petroleum derived liquids, such as naphtha and gasoline, petroleum derived gases, such as methane and propane, and other fuel such as methanol and ethanol. The electrolyte in the center allows only the protons to pass through the membrane to the cathode side of the fuel cell. The electrons cannot pass through this membrane and flow through an external circuit in the form of electric current. As oxygen flows into the fuel cell cathode, another catalyst helps the oxygen, protons, and electrons combine to produce pure water and heat.*

**Key words :** *Fuel cell, hydrogen, conversion, emission, environment*

### **1. PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi *fuel cell* di negara-negara industri maju seperti Amerika dan Eropa dewasa ini semakin terpacu dengan semakin digalakkannya swastanisasi pembangkit listrik tipe desentralisasi. Hal ini sejalan pula dengan kesadaran cinta lingkungan sesuai dengan agenda 21, Earth Summit di Rio De Janeiro, Brazil, 2001.

Teknologi *fuel cell* menjanjikan pembangkit listrik yang bebas polusi udara dan limbah beradiasi. Asal mulanya diaplikasikan pada teknologi ruang angkasa (Stasiun Ruang Angkasa). Lambat laun teknologi ini akan dapat bersaing karena ada tendensi yang sangat kuat yaitu harga dan

kerapatan energi yang dihasilkannya dapat bersaing dengan pembangkit listrik BBM ataupun nuklir sekalipun. Hal mana amat sukar dicapai oleh tipe energi terbarukan yang lain.

Sebenarnya teknologi *fuel cell* pertama kali ditemukan oleh Sir William Robert Grove pada tahun 1893, di mana ia mendemonstrasikan pemecahan uap menjadi hidrogen dan oksigen dengan pemanasan katalis seperti platinum. Pada masa sekarang, proses ini dinamakan teknologi *reformer*. Yang agak mengejutkan penemu teknologi *fuel cell* (Sir William) adalah seorang sarjana hukum, akan tetapi nasib mengubahnya menjadi seorang ahli fisika

setelah ia jatuh sakit dan menjadi profesor fisika di sebuah institusi di London antara tahun 1840 – 1847. Kombinasi kedua disiplin ilmu itu pula yang menyebabkan ia terlibat pada penyusunan Hukum Patent di dunia komersial. Perkembangan teknologi *fuel cell* baru terasa setelah terjadi semakin pesatnya perkembangan teknologi material. Perusahaan yang sukses dalam pengembangan aplikasi ini seperti misalnya Pratt & Whitney telah berhasil mengaplikasikannya untuk misi penerbangan antariksa Gemini IV dan suksesnya pendaratan Apolo di bulan.

Aplikasi teknologi *fuel cell* yang paling mutakhir adalah digunakannya 12 KW *fuel cell* alkaline di pesawat ulang-alik NASA. Pada *fuel cell* ini, hidrogen dan oksigen murni digunakan untuk proses konversi listrik. Sejak tahun 1970, Departemen Energi Amerika telah melakukan riset tipe *Phosphoric Acid Fuel Cell* (PAFC) untuk pembangkit listrik dan sekarang telah memasuki tahap komersialisasi. Sedangkan di Eropa, perkembangan teknologi *fuel cell* didukung oleh negara Uni Masyarakat Eropa dan berbagai pihak swasta. Demikian pula di Jepang, pengembangan teknologi *fuel cell* ini didukung oleh berbagai macam organisasi pemerintah maupun swasta.

## 2. KLASIFIKASI FUEL CELL

*Fuel cell* (sel bahan bakar) sebagai salah satu energi alternatif agaknya dapat menjadi pembangkit energi pada dunia otomotif dan mungkin akan bersaing bahkan akan menggeser tiga pilihan energi konvensional yang kini berkompetisi, yaitu : mesin pembakaran internal, mesin baterai isi ulang (*rechargeable*), dan mesin hibrida.

*Fuel cell* adalah suatu sistem elektrokimia yang mengubah energi kimia dari hidrogen dan oksigen langsung menjadi energi listrik.

Keunggulan utama *fuel cell* dibandingkan pembangkit listrik konvensional adalah :

- Mempunyai efisiensi tinggi dari 40% sampai 60%, sedangkan untuk kogenerasi dapat mencapai 80%.
- Tidak menimbulkan suara bising.
- Konstruksinya modular sehingga fleksibel dalam menyesuaikan dengan sumber bahan bakar yang ada.
- Mampu menanggapi dengan cepat terhadap perubahan bahan bakar atau oksigen.

Berdasarkan elektrolitnya, secara umum *fuel cell* dapat diklasifikasikan menjadi 4 tipe (jenis), yaitu :

- *Phosphoric Acid Fuel Cell* (PAFC)
- *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC)
- *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC)
- *Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell* (SPEFC)

Untuk jenis PAFC sebagai pembangkit tenaga listrik, status teknologinya telah mencapai tahap semi komersial terutama di Jepang, Eropa dan Amerika, dengan kapasitas 50 kW sampai 11 MW. Beberapa kendala yang masih dihadapi dalam komersialisasi adalah ketahanan *cell stack* dan biaya perawatan yang tinggi.

Untuk jenis SOFC, status teknologinya baru pada tahap percontohan dengan kapasitas 1 kW sampai dengan 25 kW yang dilakukan oleh NEDO Jepang, *Enireche Italy*, *Westinghouse USA*. Kendala yang muncul dalam percontohan tersebut adalah *cell material sintering* dan densitas tenaga yang rendah.

Untuk jenis MCFC, status teknologinya baru pada tahap percontohan dengan kapasitas 30 kW sampai dengan 1 MW (Jepang, Amerika dan Italia). Di samping untuk pembangkit tenaga listrik, jenis ini dapat berfungsi sebagai kogenerasi. Permasalahan yang dihadapi dalam percontohan adalah penurunan tegangan, pelarutan katoda dalam elektrolit, dan stabilitas material pada suhu tinggi.

Untuk jenis SOFC, sudah diaplikasikan untuk transportasi (bus kota, mobil, *boat*). Status teknologi jenis ini baru pada tahap percontohan dengan kapasitas 21 kW

sampai 105 kW (Italia, USA, Kanada). SOFC ini dapat dikembangkan untuk sistem hibrida dengan pembakaran hidrogen. Masalah yang timbul selama percontohan adalah material, sistem hibrida, dan penyimpanan hidrogen.

Karena efisiensi *fuel cell* yang cukup tinggi maka penggunaan gas dapat lebih hemat, sehingga umur penggunaan gas diperkirakan dapat diperpanjang hingga tahun 2060. Selain itu, Indonesia memiliki bahan baku yang cukup besar jumlahnya serta cukup lengkap untuk digunakan dalam membangun dan mengembangkan teknologi *fuel cell*.

Seperti diketahui bahwa harga *fuel cell* terus menurun sesuai dengan peningkatan perkembangan teknologi. Dalam 15 tahun belakangan ini nilai investasi telah menurun dari US\$ 100.000/kW menjadi US\$ 3.000/kW. Diproyeksikan dalam waktu 10 tahun yang akan datang hanya menjadi US\$ 500/kW. Umur *fuel cell* diproyeksikan hingga 10 tahun, dapat bekerja selama 24 jam terus menerus dengan pemadaman untuk perawatan hanya 1 atau 2 kali per tahun.

### 3. SISTEM FUEL CELL

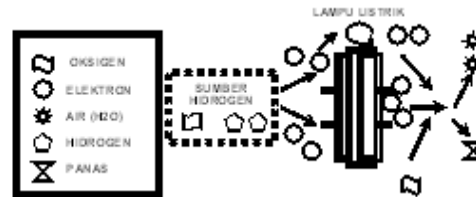
Pada dasarnya pembangkit listrik *fuel cell* terdiri atas 4 sub-sistem utama yaitu :

- *Fuel processing*
- Pembangkit *fuel cell*
- Pengkondisian daya (*DC-AC inverter*)
- Pemulihan panas (*heat recovery*)

*Fuel processing* berfungsi mengkonversikan *fuel* (gas alam, propane, methanol, batubara, dan lain-lain) ke dalam hidrogen. Dan *fuel cell stack* di mana proses elektrokimia akan terjadi pada sub-sistem ini, akan menghasilkan listrik. Sedangkan unit *power conditioning* berfungsi mengkonversikan listrik DC menjadi listrik AC.

Proses penting yang terjadi pada sub-sistem *fuel cell* adalah proses elektrokimia di mana reduksi-oksidasi gas hidrogen akan menentukan efisiensi listrik yang dihasilkan. Tentunya hal ini dikaitkan dengan beberapa

komponen pokok sehingga aliran gas, reduksi-oksidasi gas, aliran proton dan elektron dapat berjalan sehingga efisiensi sistem pembangkit listrik dapat dicapai. Untuk mendapatkan gambaran secara jelas dari sistem *fuel cell* ini, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem fuel cell

#### • Membran Elektrolit

Komponen ini mempunyai pori yang sangat kecil sehingga tidak mengijinkan atom hidrogen untuk melewati pori membran. Membran elektrolit ini bersifat *proton exchange* ( $H^+$ ) di mana dalam strukturnya akan terjadi suatu mekanisme pertukaran ion sehingga konduktifitas proton yang diharapkan pada kondisi *humidified membrane*  $2 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$  (ketahanan 0,05 ohm  $\text{cm}^2$  untuk membran dengan ketebalan 50 mikrometer). Selain itu ketahanan dan kestabilan terhadap zat kimia dan termal ( $300^\circ\text{C}$ ) sangatlah menentukan *performance* arus yang dihasilkan.

#### • Katalis

Pada komponen ini akan terjadi proses reduksi-oksidasi gas di mana proton dan elektron akan dihasilkan. Dengan ketebalan yang cukup kecil (5 – 50 mikrometer) diharapkan mempunyai kontak yang cukup baik dengan membran, sehingga akan terjadi mekanisme transfer proton yang cukup baik. Berkaitan dengan reduksi-oksidasi dan air yang dihasilkan sebagai hasil reaksi (katoda) maka hal lain yang dipersyaratkan adalah komponen ini mengandung bahan yang bersifat konduktif terhadap proton, konduktif terhadap elektron dan bersifat hidropobik terhadap air. Oleh karena itu proses penggabungan antara

ketiga bahan tersebut diperlukan teknologi dan ilmu yang tidak mudah.

- **Gas Diffuser (*Backing Electrode*)**

Komponen dengan ketebalan (100–300 mikrometer) adalah komponen yang berhubungan langsung dengan lapisan katalis, dibuat dari bahan yang berpori, bersifat konduktif terhadap elektron dan bersifat hidropobik, sehingga mampu mendistribusikan gas dan air sekaligus sebagai transfer elektron.

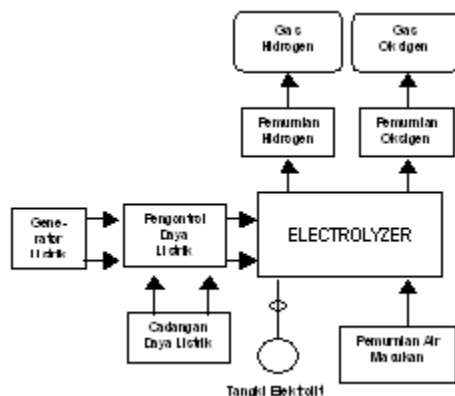
- **Current Collector**

Komponen ini terdapat pada bagian luar satu unit sel yang merupakan *plate current collector* yang mengandung *machine gas flow field*. Karakteristik penting dari *current collector* ini adalah bersifat konduktif terhadap elektron, mampu mendistribusikan gas, dan *impermeable* terhadap gas.

#### 4. PRODUKSI HIDROGEN

Salah satu jenis bahan bakar alternatif yang banyak dicermati saat ini adalah hidrogen. Seperti diketahui bahwa hidrogen dapat berfungsi sebagai energi untuk semua kegunaan sebagaimana layaknya minyak bumi dan gas alam. Hidrogen tersedia dalam air dan senyawa organik dalam bentuk senyawa hidrokarbon. Pemotongan ikatan-ikatan kimia di dalam air akan menghasilkan hidrogen yang dapat dipergunakan sebagai bahan bakar. Hidrogen dapat dihasilkan melalui beberapa proses seperti : elektrolisa, fotoelektrokimia, *steam reforming*, fotobiologi, dan lain-lain. Hidrogen dapat pula dihasilkan dengan menggandeng sumber-sumber energi terbarukan, seperti : energi air, energi surya, energi angin, dan energi panas bumi. Hidrogen yang dihasilkan dapat disimpan dalam bentuk gas atau cair, sedangkan transportasi dan distribusinya dapat dilakukan dengan berbagai cara. Karena hidrogen hanya ditemukan di alam dalam bentuk senyawa, maka hidrogen harus diproduksi melalui penggunaan energi, sebelum hidrogen tersebut tersedia sebagai

sumber energi. Dalam hal ini dapat dibedakan antara produksi dengan pembawa energi primer dan produksi dengan pembawa energi sekunder. Produksi energi primer saat ini berarti produksi hidrogen dari bahan bakar fosil melalui pembentukan gas alam dan batubara. Proses lebih lanjut dari produksi ini masih dalam penelitian dan pengembangan. Teknologi produksi hidrogen yang saat ini unggul adalah gasifikasi dari biomassa, serta produksi langsung hidrogen dari algae dengan radiasi surya. Salah satu produksi hidrogen yang saat ini dikenal adalah dari listrik melalui elektrolisa. Produksi hidrogen langsung dengan elektrolisa air, terutama dihubungkan dengan pembangkit listrik tenaga air, sedangkan produksi hidrogen secara tidak langsung melalui listrik pembawa energi. Dekomposisi air dengan elektrolisa terdiri dari dua reaksi yang terjadi pada dua elektroda. Kedua elektroda ini dipisahkan oleh elektrolit yang konduktif ion. Hidrogen diproduksi pada elektroda negatif (katoda) dan oksigen pada elektroda positif (anoda). Pertukaran muatan terjadi melalui aliran ion. Untuk menjaga gas yang diproduksi terpisah, dua area reaksi dipisahkan oleh separator konduktif ion, sedangkan energi untuk pemisahan air didapatkan dari listrik. Untuk proses elektrolisa air konvensional, area anoda dan katoda dipisahkan oleh mikro-poros diafragma untuk mencegah tercampurnya produk gas. Dengan tekanan keluaran 0,2 – 0,5 Mpa, proses ini dapat mencapai efisiensi sekitar 65%. Pada proses elektrolisa air tekanan tinggi digunakan material khusus, dan hidrogen yang dihasilkan menggunakan tekanan di atas 5 Mpa. Sedangkan pada proses elektrolisa air suhu tinggi, dibutuhkan sebagian energi untuk memisahkan air bersuhu tinggi dan mengurangi konsumsi listrik. Sistem produksi hidrogen dengan menggunakan elektrolisa air seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem produksi hidrogen dengan elektroisa air

## 5. TEKNOLOGI ELEKTROLISA

Daya untuk pembentukan hidrogen dapat digunakan sumber energi konvensional maupun nonkonvensional, tetapi idealnya digunakan daya sumber energi primer yang nonkonvensional misalnya : energi nuklir, angin, panas bumi atau energi surya agar sesuai dengan maksud melaksanakan konservasi energi. Adanya potensi listrik tenaga air yang besar akan memungkinkan pengembangan dan penerapan teknologi elektrolisa berbahan baku air, karena proses elektrolisa ini memerlukan tenaga listrik yang besar. Pemanfaatan hidrogen yang dihasilkan sebagai bahan bakar akan mempunyai arti pemanfaatan energi terbarukan yang ramah lingkungan. Proses elektrolisa berbahan baku air adalah proses penguraian air atas unsur oksigen dan hidrogennya dengan memakai tenaga listrik. Kedua produk tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, hidrogen khususnya dapat digunakan sebagai reduksi agent, bahan bakar atau bahan kimia. Pemanfaatan hidrogen sebagai bahan bakar menjadi perhatian utama dalam penelitian yang telah/sedang dilakukan di luar negeri, karena hidrogen merupakan energi yang ramah lingkungan dan terbarukan.

Dilakukannya pengkajian teknologi elektrolisa, khususnya berbahan baku air

akan membantu mengenal teknologi ini serta mengetahui permasalahan yang ada dalam pengoperasiannya, sehingga bila kelak diperlukan penerapan teknologi elektrolisa untuk memproduksi hidrogen, maka telah dimiliki cukup pengetahuan untuk memproduksinya. Dalam kaitan dengan ketersediaan listrik tenaga air yang melimpah dan murah, seperti di daerah Mamberamo, Irian Jaya, maka hidrogen merupakan *energy carrier*, sehingga dalam bentuk energi yang lain (listrik) tersebut dapat digunakan di lokasi yang jauh dari pusat pembangkitnya. Sebagai contoh, Sungai Mamberamo di Irian Jaya yang panjangnya sekitar 650 km, mempunyai potensi untuk memproduksi listrik tenaga air sebesar 15.000-20.000 MW. Sumber energi listrik yang besar ini dapat dimanfaatkan untuk industri padat energi, seperti peleburan konsentrate tembaga, pengolahan nikel dan bauksit. Tenaga listrik ini juga dapat dimanfaatkan untuk memproduksi hidrogen melalui proses elektrolisa dengan bahan baku air. Hidrogen yang diproduksi ini dapat digunakan untuk proses reduksi baja dan bahan bakar untuk pengangkutan yang bermesin *fuel cell*. Bila digabung dengan CO<sub>2</sub> yang diperoleh dari Natuna atau sumber gas alam di sekitar daerah Mamberamo, hidrogen ini dapat dikonversikan menjadi metanol serta produk turunannya, seperti komposit, polimer, plastik dan resin.

Sebagai bahan bakar untuk pengangkutan yang bermesin *fuel cell*, hidrogen merupakan energi yang ramah lingkungan karena tidak dihasilkannya NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> sebagai gas buangnya. Selanjutnya hidrogen juga merupakan energi terbarukan karena dengan menggunakan proses elektrolisa berbahan baku air, maka bahan baku ini dapat diperoleh kembali setelah hidrogen ini digunakan pada *fuel cell*.

Hidrogen yang didapatkan dari pembentukan seperti gas alam, metanol dan batubara dikombinasikan dengan oksigen yang umumnya didapatkan dari udara.



Oksigen dan hidrogen dapat diperoleh melalui proses elektrolisa dengan jalan mengalirkan arus searah (DC) melalui air di antara elektroda (oksigen pada elektroda negatif dan hidrogen pada elektroda positif). Sedangkan komponen sistem *fuel cell* paling sedikit terdiri dari satu unit sel (*cell stack*). Setiap sel umumnya mengeluarkan tegangan 0,6 volt dengan arus searah 250 – 500 mA/cm<sup>2</sup>. Prinsipnya terdiri dari hidrogen dan elektroda udara yang masing-masing dipisahkan oleh suatu elektrolit yang ditempatkan di antaranya dan dihubungkan dalam *stack* yang disusun seri. Sistem tersebut dilengkapi dengan tabung pendingin untuk mengontrol perbedaan temperatur yang keluar dari sistem.

## 6. APLIKASI SISTEM FUEL CELL

Sebagai pembangkit listrik (*Stationary Power Generation*) sifat sistem ini yang bersih dari pencemaran udara dan tidak bising, akan sangat cocok digunakan di rumah sakit, perumahan yang padat, apartemen, dan instalasi penting baik sipil maupun militer. Penggunaan sumber energi *fuel cell* pada kapal selam mempunyai beberapa keuntungan, yaitu pada saat menyelam, mesin diesel dimatikan dan mesin listrik dengan *fuel* dihidupkan. Dengan tidak adanya suara mesin menyebabkan kapal selam ini susah terdeteksi oleh sonar kapal selam lawan. Di samping itu sisa proses berupa air bersih dapat dimanfaatkan oleh awak kapal.

Seperti diketahui bahwa dari data yang ada sekitar 15 juta rumah tangga di Indonesia belum teraliri listrik dari PLN sampai dengan tahun 2000, dan sampai dengan 5 – 10 tahun mendatang diperkirakan PLN tidak akan memiliki kemampuan untuk investasi skala besar dalam memperluas jaringannya. *Fuel cell* sebagai pembangkit listrik akan merupakan salah satu teknologi yang berpotensi untuk diaplikasikan dalam pemenuhan kebutuhan listrik penduduk. Dengan keunggulan *fuel cell* yang sangat fleksibel dalam penggunaan bahan bakar, bentuknya yang modular dan mudah

dioperasikan serta tidak memerlukan jaringan, maka *fuel cell* sangat cocok untuk diaplikasikan pada daerah terpencil.

*Fuel cell* juga cocok diaplikasikan untuk keperluan penyediaan listrik pada sistem TV *repeater* seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (terlampir), signal lampu kereta, dan keperluan lainnya yang membutuhkan catu daya listrik yang relatif kecil.

### 6.1. Penerapan Fuel Cell Sebagai Pembangkit Listrik Skala Kecil

Di Indonesia bahan bakar fosil (*primary energy*) merupakan bahan bakar utama untuk pembangkit listrik. Pada tahun 2003 kebutuhan energi untuk pembangkit listrik di Indonesia diproyeksikan akan mencapai 192.080 GWH, 86% nya dipenuhi oleh bahan bakar fosil. Untuk keperluan tersebut batubara akan dibakar sebanyak 61,394 juta ton, sedangkan konsumsi minyak dan gas bumi diproyeksikan akan melebihi produksi minyak dan gas bumi sehingga dikhawatirkan Indonesia akan mengimpor minyak pada saat ini. Melihat proyeksi kebutuhan energi yang besar ini dan guna meningkatkan peran swasta menengah, pemerintah telah mengeluarkan pola mekanisme kerjasama dalam bidang pembangkit listrik antara PLN dan swasta. Diharapkan swasta menengah dapat berpartisipasi pada proyek ketenagalistrikan berskala kecil, dalam hal : konsultasi, rekayasa peralatan pembangkit listrik, pembangunan dan pemasangan serta pemeliharaan peralatan, menunjang penyediaan tenaga listrik dan tenaga ahlinya. Peningkatan permintaan energi listrik di seluruh dunia menyebabkan pemacuan penelitian untuk meningkatkan efisiensi berbagai teknologi pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil, antara lain :

- *Conventional Steam Turbine (gas/coal)*
- *Combined Cycle (steam and gas)*
- *Pressurized .Fluidized – Bed Combustion*
- *Steam – Injected Gas Turbin*
- *Intercooled Steam – Injected Gas Turbin*
- *Fuel Cell*

Dari beberapa jenis *fuel cell* yang ada, masing-masing mempunyai spesifikasi dalam aplikasinya, karena hal ini berkaitan dengan kondisi operasi *fuel cell* tersebut. *Fuel cell* dengan kondisi operasi pada suhu seperti PEMFC cocok digunakan pembangkit listrik skala kecil (*portable power*) sedangkan *fuel cell* dengan suhu operasi menengah dan suhu tinggi seperti : PAFC, MCFC, dan SOFC sangat cocok untuk aplikasi pembangkit listrik skala besar (*power plant*) karena mampu untuk diaplikasikan pada *co-generation* dan *combined cycle*.

Pengembangan PEMFC sebagai *stationary power generation* banyak diaplikasikan pada pemenuhan listrik untuk perumahan dengan kapasitas 1 – 7 kWatt, seperti terlihat pada Gambar 4 (terlampir). Untuk keperluan listrik perumahan, PEMFC dapat menggunakan bahan bakar gas alam atau LPG setelah melalui proses reformasi menjadi gas hidrogen.

## 6.2. Penerapan Fuel Cell di Sektor Transportasi

Suatu alat transportasi sangat berhubungan dengan berat total kendaraan, dan bahan bakar yang digunakan merupakan suatu zat dari sistem yang mempengaruhi berat total kendaraan dan kinerjanya. Jika digunakan bahan bakar yang mempunyai nilai kalor tinggi, maka kinerja akhir kendaraan dapat dikatakan baik. Seperti diketahui, hidrogen sebagai energi alternatif merupakan senyawa bahan bakar yang pada saatnya nanti menjadi suatu sumber energi yang sangat potensial, bersih, dan efisien. Bila hidrogen digunakan sebagai bahan bakar *fuel cell*, maka mobil listrik akan menjadi ringan dibandingkan bahan bakar lain. Hal ini disebabkan energi per satuan beratnya lebih tinggi.

Pengembangan mobil listrik dengan baterai konvensional dirasakan tidak realibel karena jarak tempuhnya pendek dan waktu pengisian baterai yang lama jika dibandingkan mobil konvensional. Namun dengan adanya teknologi *fuel cell* dan

*reformernya*, kendala jarak tempuh dan pengisian baterai dapat diatasi. Pada beberapa jenis prototipe mobil listrik selain tangki penyimpan gas hidrogen juga digunakan *reformer* di mana campuran metana dan air dirubah menjadi gas hidrogen. Sebagai salah satu contoh penerapan *fuel cell* pada mobil listrik, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 (terlampir).

## 7. KESIMPULAN

- *Fuel Cell* sebagai teknologi pembangkit energi prospeknya sangat baik di masa mendatang, baik diaplikasikan pada sektor pembangkit listrik maupun di sektor transportasi. Khusus untuk di Indonesia yang merupakan negara kepulauan, teknologi ini merupakan salah satu teknologi alternatif yang sangat sesuai untuk penyediaan energi listrik.
- Perkembangan teknologi *fuel cell* yang pesat dapat meningkatkan pengoperasian produksi hidrogen dengan cara digandengkan dengan generator lain seperti penggunaan teknologi fotovoltaiik.
- Aplikasi sistem *fuel cell* akan sangat menguntungkan bagi negara kita seperti : membuka lahan bisnis baru termasuk bisnis sistem pendukungnya (pendistribusian gas hidrogen, gas oksigen, gas alam, dan gas LPG), menghemat devisa negara, dan mengurangi pencemaran udara di sektor transportasi.
- Aplikasi sistem *fuel cell* untuk sektor transportasi perlu diprioritaskan, karena sarana transportasi merupakan kontributor terbesar, baik dalam penggunaan BBM secara nasional maupun pencemaran lingkungan.
- Dimulainya penggunaan sistem *fuel cell* merupakan tantangan dalam menghadapi masalah global seperti faktor pencemaran lingkungan akibat penggunaan energi fosil, dan terbatasnya sumber daya energi fosil

serta penyimpanan energi untuk daerah terpencil.

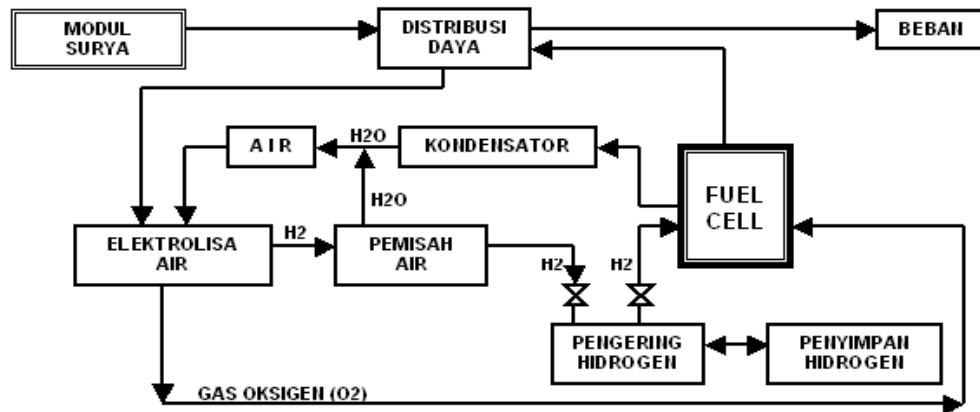
#### DAFTAR PUSTAKA

1. Achiar Oemry, 2001, *Status Teknologi Fuel Cell*, Diskusi Interaktif, Bandung, 9 Nopember 2001.
2. A.J. Appleby, F.R. Foulkes, 1989, *Fuel Cell Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York.
3. Amphlett, JC, 1985, *A Practical PEM Fuel Cell Model for Simulating Vehicle Power Sources*, IEEE, pp. 221-226.
4. Alerich, WN, 1993, *Electric Motor Control*, 5<sup>th</sup> Ed, Delmar Publisher Inc, New York.
5. Avallone, Baumeister T III, Marks, 1987, *Standard Handbook for Mechanical Engineers*, 9<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill Book Company, New York, London.
6. Bosch, 1996, *Automotive Hand Book*, 2<sup>nd</sup> Ed., SAE ISBN 3-518-6, Federal Republic of Germany.
7. Cardullo, MW, 1993, *Total Life-Cycle Cost Analysis of Conventional and Alternative Fueled Vehicles*, IEEE AES System Magazine, pp. 39-43.
8. De Luchi et al, 1989, *Electric Vehicles; Performance, Life-Cycle Costs, Emission, and Recharging Requirements*, Transportation Research, Vol. 23A, pp. 225-278, 1989, Pergamon Press plc., Great Britain.
9. Ganesha TC, 2001, *Mobil Listrik Fuel Cell*, Tekno Energi, Vol.10, No.23, Januari-Maret, 2001.

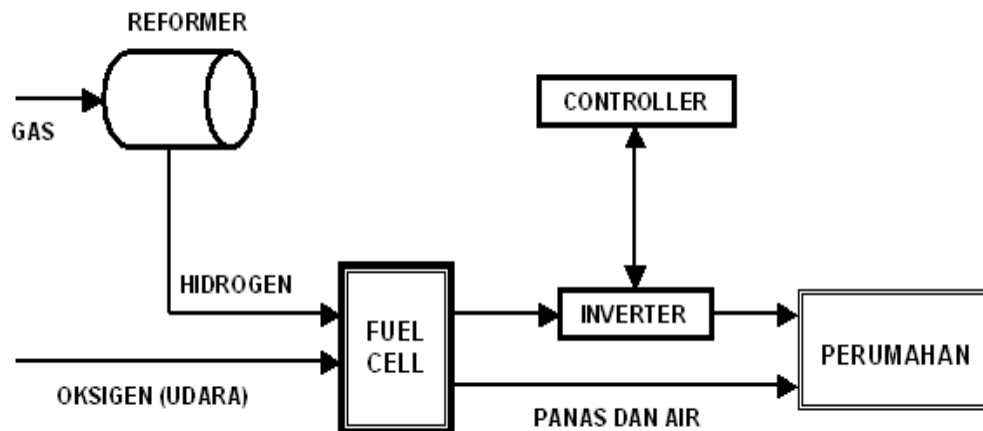


## Lampiran - Lampiran

Lampiran 1. Gas Oksigen ( $O_2$ )



Lampiran 2. Diagram Blok Sistem Fuel Cell Untuk Aplikasi Pada Perumahan



Lampiran 3. Prinsip Kerja Mobil Listrik *Fuel Cell Tipe PEM*

